ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMAČNÝCH TECHNOLÓGIÍ

Katedra multimédií a informačno-komunikačných technológií

Návrh mikrovlnového spojenia

LABORATÓRNA PRÁCA

INFORMAČNE A KOMUNIKAČNÉ TECHNOLÓGIE 2

Študijný odbor:	informatika
Študijný program:	komunikačné a informačné technológie

Vypracovali: Adam Petrovič

Miesto a dátum odovzdania: **Žilina, 2023**

OBSAH

1 Úvod ... 4
2 Zadanie ... 5
3 Zadané hodnoty ... 7
4 vybrané hraničné body ... 9
5 Návrh trasy ... 10
5.1 Trasa z Google Maps ... 10
5.2 Trasa z RadioMobile ... 10
5.3 1.Skok ... 11
5.3.1 Terénny profil z alcoma.cz ... 11
5.3.2 Výpočet parametrov spoja ... 12
5.3.3 Terénny profil a parametre spoja z RadioMobile ... 14
5.3.4 Porovnanie vypočítaných parametrov s parametrami z RadioMobile ... 15
5.3.5 Kvalitatívne parametre z alcoma.cz ... 15
5.4 2.Skok ... 16
5.4.1 Terénny profil z alcoma.cz ... 16
5.4.2 Výpočet parametrov spoja ... 17
5.4.3 Terénny profil a parametre spoja z RadioMobile ... 19
5.4.4 Porovnanie vypočítaných parametrov s parametrami z RadioMobile ... 20
5.4.5 Kvalitatívne parametre z alcoma.cz ... 20
5.5 3.Skok ... 21
5.5.1 Terénny profil z alcoma.cz ... 21
5.5.2 Výpočet parametrov spoja ... 22
5.5.3 Terénny profil a parametre spoja z RadioMobile ... 24
5.5.4 Porovnanie vypočítaných parametrov s parametrami z RadioMobile ... 25
5.5.5 Kvalitatívne parametre z alcoma.cz ... 25
5.6 4.Skok ... 26
5.6.1 Terénny profil z alcoma.cz ... 26
5.6.2 Výpočet parametrov spoja ... 27
5.6.3 Terénny profil a parametre spoja z RadioMobile ... 29
5.6.4 Porovnanie vypočítaných parametrov s parametrami z RadioMobile ... 30
5.6.5 Kvalitatívne parametre z alcoma.cz ... 30
5.7 5.Skok ... 31

5.7.1 Terénny profil z alcoma.cz ... 31
5.7.2 Výpočet parametrov spoja ... 32
5.7.3 Terénny profil a parametre spoja z RadioMobile ... 34
5.7.4 Porovnanie vypočítaných parametrov s parametrami z RadioMobile ... 35
5.7.5 Kvalitatívne parametre z alcoma.cz ... 35
5.8 6.Skok ... 36
5.8.1 Terénny profil z alcoma.cz ... 36
5.8.2 Výpočet parametrov spoja ... 37
5.8.3 Terénny profil a parametre spoja z RadioMobile ... 39
5.8.4 Porovnanie vypočítaných parametrov s parametrami z RadioMobile ... 40
5.8.5 Kvalitatívne parametre z alcoma.cz ... 40
5.9 7.Skok ... 41
5.9.1 Terénny profil z alcoma.cz ... 41
5.9.2 Výpočet parametrov spoja ... 42
5.9.3 Terénny profil a parametre spoja z RadioMobile ... 44
5.9.4 Porovnanie vypočítaných parametrov s parametrami z RadioMobile ... 45
5.9.5 Kvalitatívne parametre z alcoma.cz ... 45
6 Záver ... 46

1 ÚVOD

Mikrovlnové spojenia predstavujú bezdrôtové spojenia typu bod-bod (point to point), ktoré na prenos využívajú frekvenčné spektrum od 10GHz do 80GHz (existujú aj 4GHz). Šírka pásma (B) mikrovlnného spojenia býva od 3,5MHz až po 1,25GHz. Šírka pásma závisí od využitej nosnej frekvencie. Prenosová rýchlosť sa pohybuje v rozmedzí 4Mbps až 1150Mbp. Prenosová rýchlosť závisí od využitej nosnej frekvencie a šírky pásma. Pri vyšší frekvenciách sa využívajú robustnejšie modulačné formáty (BPSK,QPSK) a pri nižší nosných frekvenciách sa využívajú menej robustné modulácie (16QAM až 1024QAM).

2 ZADANIE

Na stránke https://www.mapavysilacu.cz/mapglobal.html nájdite v trvalom bydlisku inštitúciu (obecný úrad, nemocnica, pohostinstvo, škola, hasičská zbrojnica, policajná stanica) a vysielač vo vzdialenosti minimálne $4 \cdot d_{max}$ (vzdušnou čiarou) a zapísať ich GPS súradnice. Vysielač a inštitúcia nemusia byť v priamej optickej viditeľnosti. Následne budú parametre spoja pre vysielač pre každého odlišné a budú zadané p. Ing. B. Adamcom, PhD. Tieto hodnoty treba zadať do výpočtovej tabuľky na webstránke Alcoma, dostupné na: https://www.alcoma.cz/vypoctova-tabulka. Je potrebné aby daná trasa bola rozdelená na viaceré skoky, pričom počet skokov nie je obmedzený. Antény môžu mať minimálnu výšku 5 metrov a maximálnu 60 metrov. Je potrebné pomocou upraveného Frisovho vzťahu (platí len priamu viditeľnosť),

$$d_{km}[km] = 10^{\left[\frac{A_š[dB]}{20} - 10 \cdot \log(f_{GHz}) - 4{,}62\right]},$$

vypočítať vzdialenosti pre nasledujúce hraničné a optimálne úrovne tlmenia. Tieto hodnoty vychádzajú z praxe.

	Hraničné	Optimálne
Minimálne	$A = 125\ dB$	$A = 130\ dB$
Maximálne	$A = 145\ dB$	$A = 140\ dB$

Pre každý skok vypočítajte:

a) ekvivalentný izotropický vyžiarený výkon:

$$P_{EIRP}[dBm] = P_{TX}[dBm] + G_{A_{Tx}}[dBi],$$

b) útlm šírením:

$$A_š[dB] = 20\log(d_{km}) + 20\log(f_{GHz}) + 92{,}4,$$

c) prijatý výkon:

$$P_{Rx}[dBm] = P_{EIRP}[dBm] - A_š[dB] + G_{A_{Rx}}[dBi],$$

d) prahovú úroveň:

$$P_{thE-6}[dBm] = P_{thermal\ noise}[dBm] + F[dB] + C/N[dB],$$

e) rezervu na plochý únik:

$$FFM[dB] = P_{Rx}[dBm] - P_{thE-6}[dBm],$$

f) max. polomer 1. Fresnelovej zóny:

$$R_{max}[m] = 8{,}657 \cdot \sqrt{\frac{d_{km}}{f_{GHz}}}.$$

Zobrazte terénny profil jednotlivých skokov získaný z webstránky Alcoma a zo softvéru Radiomobile. Zo softvéru Radiomobile zobrazte: prijatý výkon, prahovú úroveň, ekvivalentný izotropický vyžiarený výkon, rezervu, útlm šírením, vzdialenosť a "clearance".

3 ZADANÉ HODNOTY

Moje zadané hodnoty pre model antény **AL80LP**:

Parameter	Hodnota
f_0	80 GHz
B(šírka pásma)	1000MHz
Kapacita (C)	1150Mbps
Modulácia	QPSK
P_{max}**(max. výkon)**	30dBm
Krok	5dB
Vlnová dĺžka(λ)	3,75mm

Vypočítané hodnoty vzdialenosti pre moje parametre (80GHz):

Hodnota útlmu	Vzdialenosť
125dB	533m
145dB	5,33km
130dB	948m
140dB	3km

z toho vyplýva, že minimálna vzdialenosť $4 \cdot d_{max}$ je

$$4 \cdot d_{max} = 4 \cdot 3 = 12km.$$

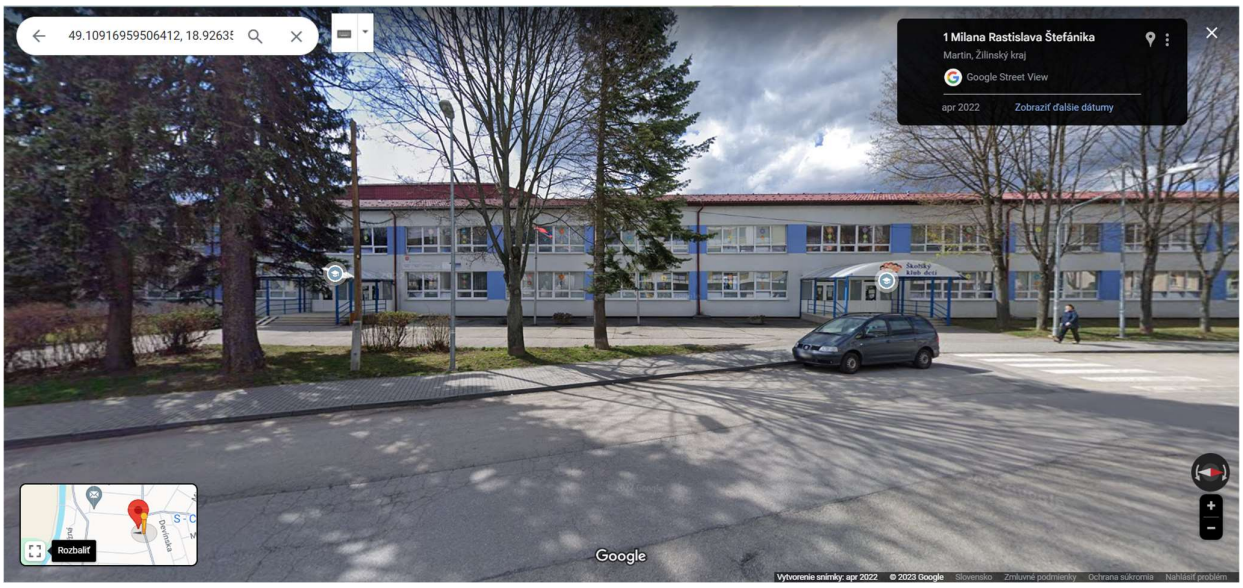
Vypočítané hodnoty pre minimálnu rezervu pre hraničnú hodnotu útlm $\sim 145 dB$(5,33km):

Vzdialenosť[km]	Rezerva[dB]
$do\ 0{,}2 \cdot d_{max}$ $do \sim 1{,}07 km$	15dB
$0{,}2 \cdot d_{max} - 0{,}4 \cdot d_{max}$ $\sim 1{,}07 - 2{,}13 km$	20dB
$0{,}4 \cdot d_{max} - 0{,}6 \cdot d_{max}$ $\sim 2{,}13 - 3{,}2 km$	25dB
$0{,}6 \cdot d_{max} - 0{,}8 \cdot d_{max}$ $\sim 3{,}2 - 4{,}26 km$	30dB
$0{,}8 \cdot d_{max} - 1{,}0 \cdot d_{max}$ $\sim 4{,}26 - 5{,}33 km$	35-40dB

4 VYBRANÉ HRANIČNÉ BODY

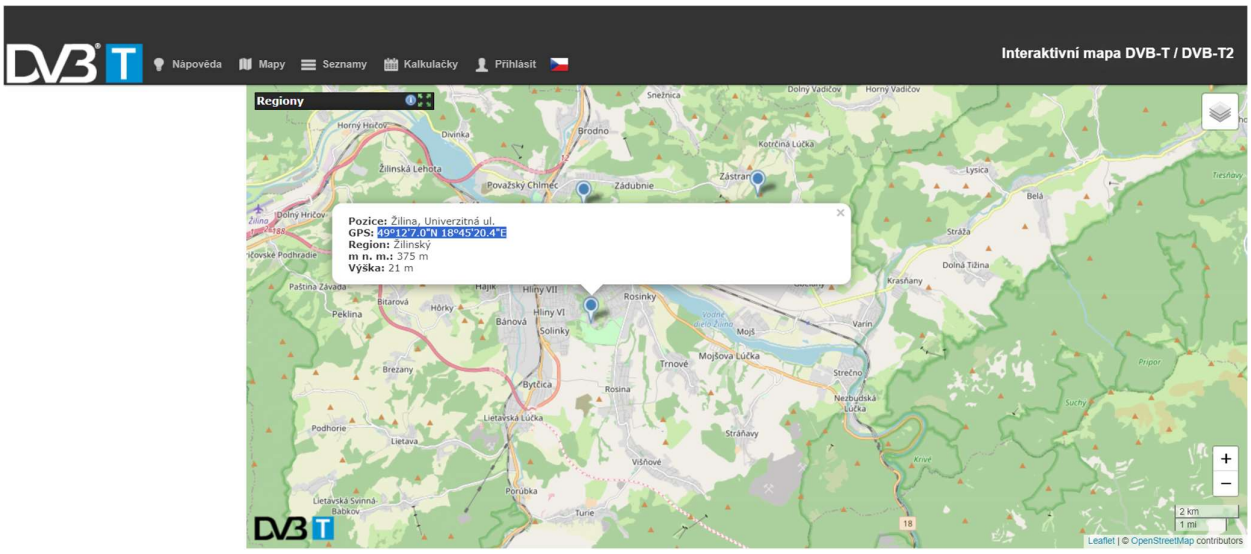
Zvolená inštitúcia Spojená škola - Ulica M. R. Štefánika 1, Vrútky.

GPS: 49°06'33.0"N 18°55'34.9"E



Zvolené vysielacie stredisko u nás na Univerzite.

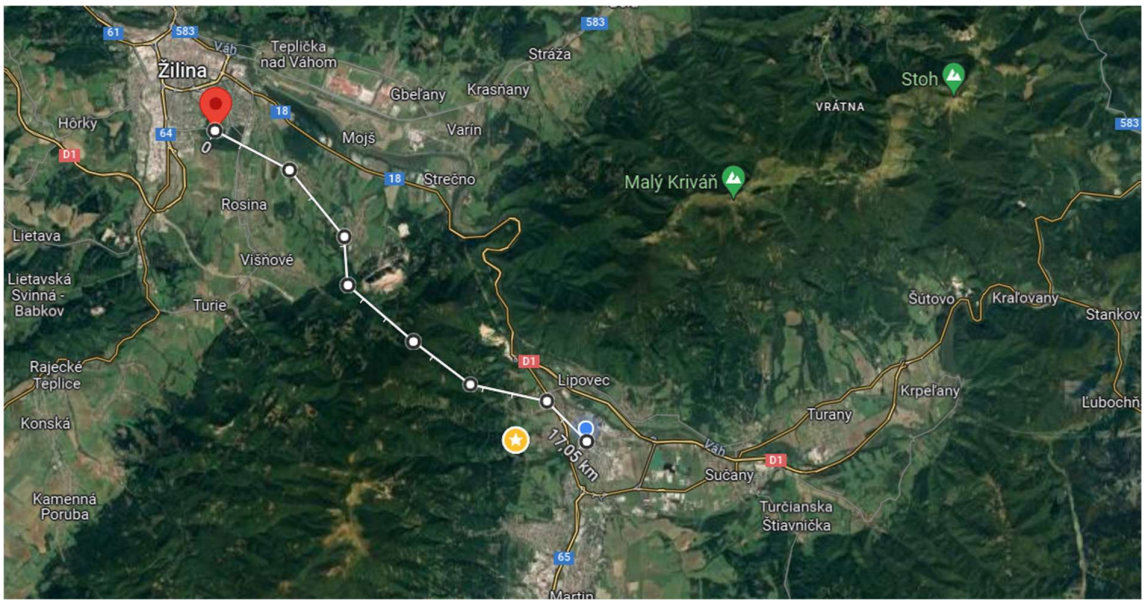
GPS: 49°12'7.0"N 18°45'20.4"



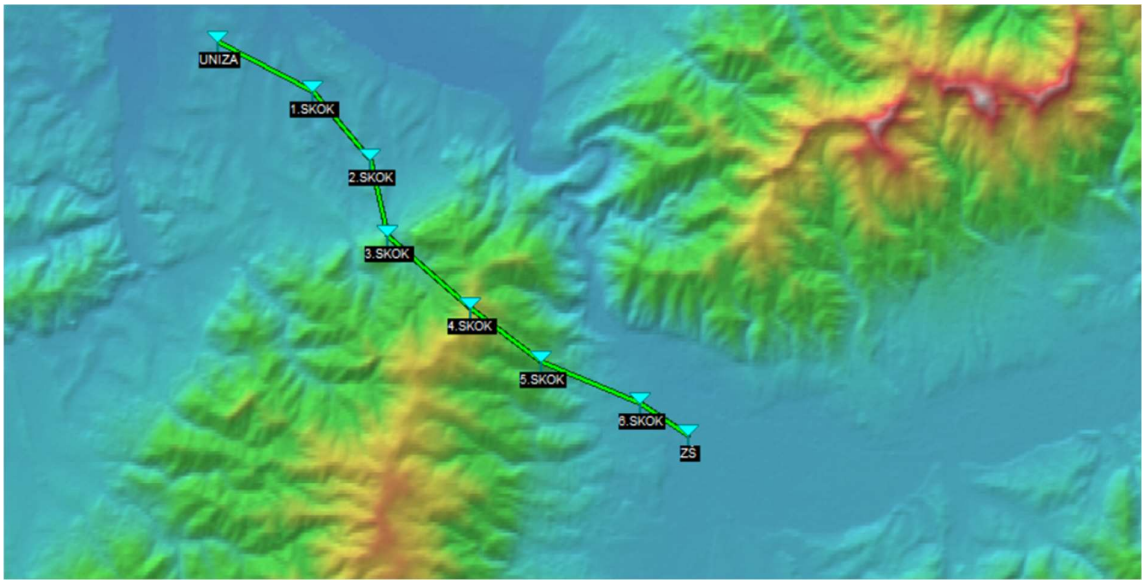
5 NÁVRH TRASY

Celková trasa je tvorená 7 skokmi a celková dĺžka trasy vzdušnou čiarou je približne 16km.

5.1 Trasa z Google Maps

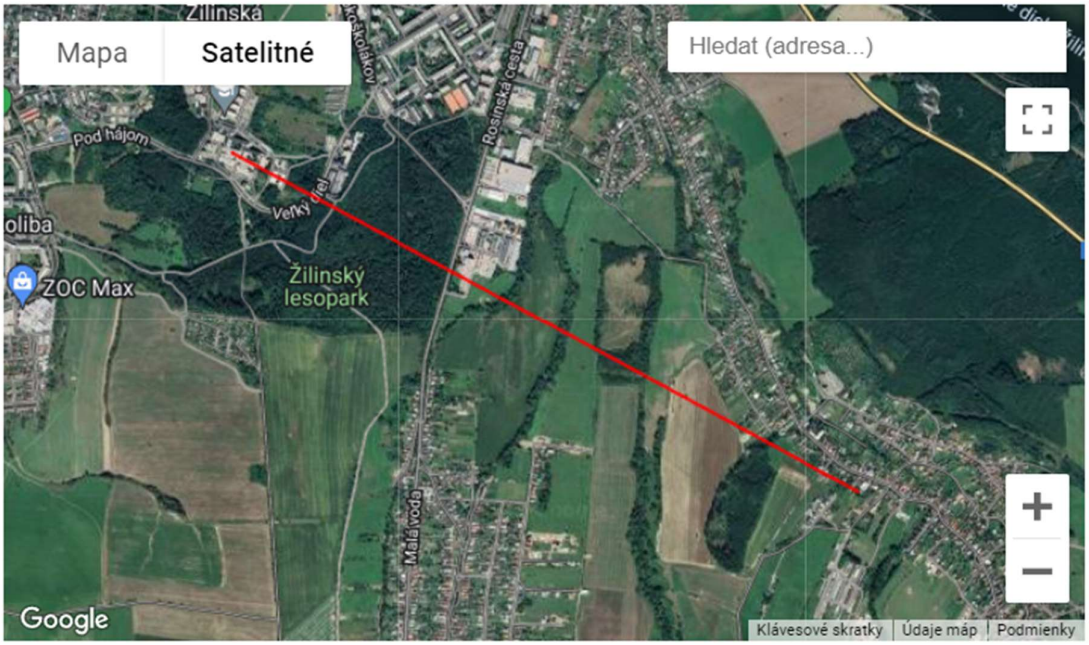


5.2 Trasa z RadioMobile

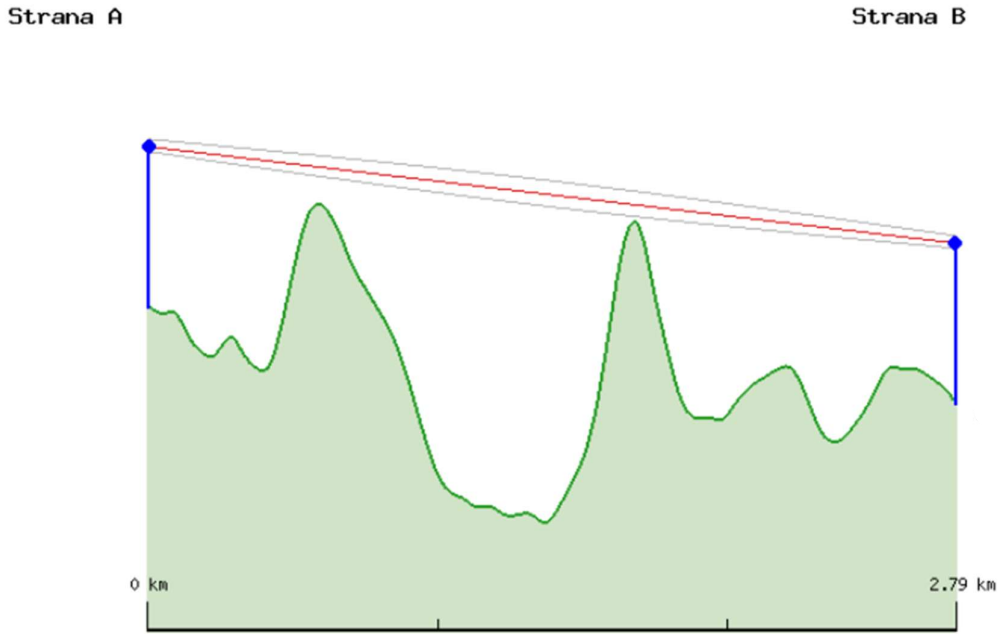


5.3 1.Skok

GPS bodu A:	GPS bodu B:
49°12'7.0"N 18°45'20.4"E	49°11'24"N, 18°47'22"E



5.3.1 Terénny profil z alcoma.cz



5.3.2 Výpočet parametrov spoja

Parametre	
P_{Tx}	10dBm
Dĺžka skoku	2,79km
Výška vysielacej antény	37m
Výška prijímacej antény	20m
Priemer vysielacej antény	0,3m
Priemer prijímacej antény	0,3m
C/N (pri QPSK)	13,5dB
F(šumové číslo)	4,5dB

Zisk antén:

$$G_{A_{Tx}}[dBi] = 20\log(Dm) + 20\log(f_{GHz}) + 17{,}82 = 45{,}42dBi$$

$$G_{A_{Rx}}[dBi] = 20\log(Dm) + 20\log(f_{GHz}) + 17{,}82 = 45{,}42dBi$$

EIRP:

$$P_{EIRP}[dBm] = P_{TX}[dBm] + G_{A_{Tx}}[dBi] = 55{,}42dBm$$

Útlm šírením:

$$A_{š}[dB] = 20\log(d_{km}) + 20\log(f_{GHz}) + 92{,}4 = 139{,}37dB$$

Prijatý výkon:

$$P_{Rx}[dBm] = P_{EIRP}[dBm] - A_{š}[dB] + G_{A_{Rx}}[dBi] = -38{,}53dBm$$

Tepelný šum:

$$P_{Thermal\ Noise}[dBm] = -173{,}9\left[\frac{dBm}{Hz}\right] + 10\log(B_{Hz}) = -83{,}9dBm$$

Prahová úroveň:

$$P_{thE-6}[dBm] = P_{thermal\ noise}[dBm] + F[dB] + C/N[dB] = -65{,}9dBm$$

FFM:

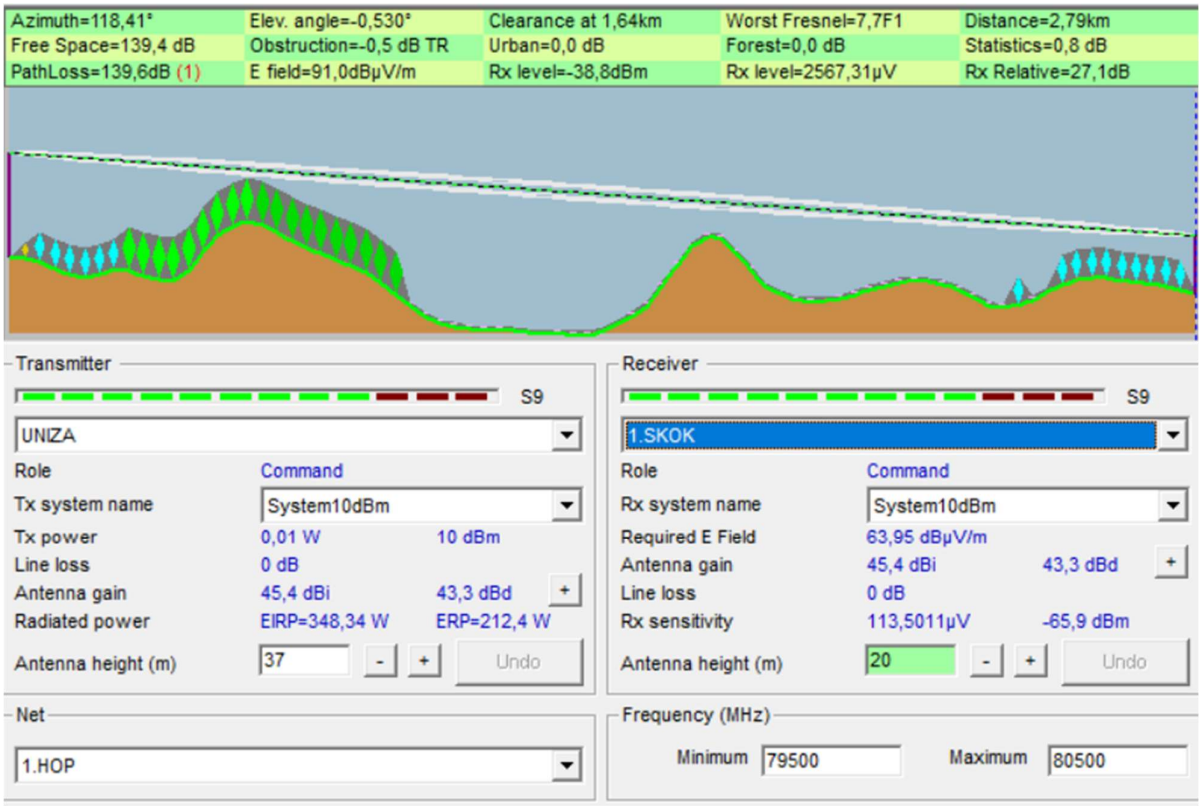
$$FFM[dB] = P_{Rx}[dBm] - P_{thE-6}[dBm] = 27{,}37dB$$

Maximálny polomer 1. Fresnelovej zóny:

$$R_{max}[m] = 8{,}657 \cdot \sqrt{\frac{d_{km}}{f_{GHz}}} = 1{,}62m$$

Všetky parametre	
$\boldsymbol{P_{Tx}}$	10dBm
Výška vysielacej antény	37m
Výška prijímacej antény	20m
Priemer vysielacej antény	0,3m
Priemer prijímacej antény	0,3m
C/N (pri QPSK)	13,5dB
F(šumové číslo)	4,5dB
$\boldsymbol{G_{A_{Tx}}}$	45,42dBi
$\boldsymbol{G_{A_{Rx}}}$	45,42dBi
$\boldsymbol{P_{EIRP}}$	55,42dBm
$\boldsymbol{A_{š}}$	139,37dB
$\boldsymbol{P_{Rx}}$	-38,53dBm
$\boldsymbol{P_{Thermal\ Noise}}$	-83,9dBm
$\boldsymbol{P_{thE-6}}$	-65,9dBm
$\boldsymbol{FFM}$	27,37dB
$\boldsymbol{R_{max}}$	1,62m

5.3.3 Terénny profil a parametre spoja z RadioMobile



Parametre z RadioMobile	
$A_š$	139,4dB
PathLoss	139,6dB
Clearance	1,64km
P_{EIRP}	348,34W = 55,42dBm
P_{Rx}	-38,8dBm
FFM	27,1dB
Worst Fresnel	7,7F1

5.3.4 Porovnanie vypočítaných parametrov s parametrami z RadioMobile

Parameter	Výpočet	RadioMobile
P_{EIRP}	55,4dBm	348,34W = 55,42dBm
$A_{š}$	139,37dB	139,4dB
P_{Rx}	-38,53dBm	-38,8dBm
FFM(min. 25dB)	27,37dB	27,1dB

Vzdialenosť[km]	Rezerva[dB]
$do\ 0{,}2 \cdot d_{max}$ $do\ \sim 1{,}07km$	15dB
$0{,}2 \cdot d_{max} - 0{,}4 \cdot d_{max}$ $\sim 1{,}07 - 2{,}13km$	20dB
$0{,}4 \cdot d_{max} - 0{,}6 \cdot d_{max}$ $\sim 2{,}13 - 3{,}2km$	25dB
$0{,}6 \cdot d_{max} - 0{,}8 \cdot d_{max}$ $\sim 3{,}2 - 4{,}26km$	30dB
$0{,}8 \cdot d_{max} - 1{,}0 \cdot d_{max}$ $\sim 4{,}26 - 5{,}33km$	35-40dB

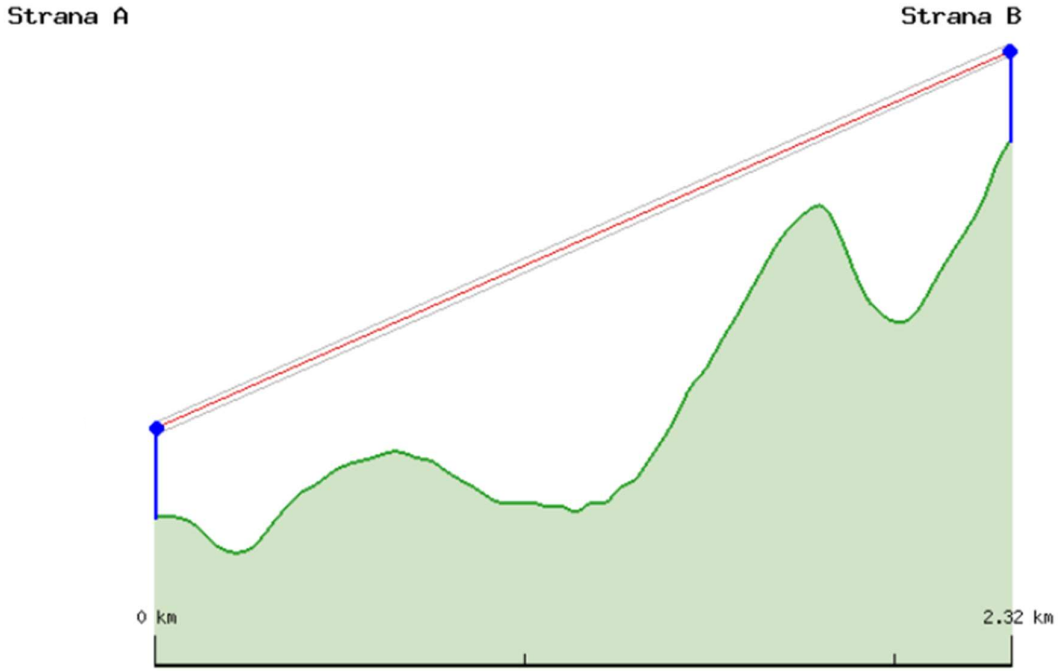
5.3.5 Kvalitatívne parametre z alcoma.cz

Maximální intenzita srážek (V polarizace)	33.8	[mm/h]
Dostupnost spoje (V polarizace)	99.9848	[%]
Nedostupnost spoje (V polarizace)	79.9	[min/rok]
Maximální intenzita srážek (H polarizace)	32.4	[mm/h]
Dostupnost spoje (H polarizace)	99.983	[%]
Nedostupnost spoje (H polarizace)	89.1	[min/rok]

5.4 2.Skok

GPS bodu A:	GPS bodu B:
49°11'24"N, 18°47'22"E	49°10'27"N 18°48'37"E

5.4.1 Terénny profil z alcoma.cz



5.4.2 Výpočet parametrov spoja

Parametre	
P_{Tx}	10dBm
Dĺžka skoku	2,32km
Výška vysielacej antény	20m
Výška prijímacej antény	30m
Priemer vysielacej antény	0,3m
Priemer prijímacej antény	0,3m
C/N (pri QPSK)	13,5dB
F(šumové číslo)	4,5dB

Zisk antén:

$$G_{A_{Tx}}[dBi] = 20\log(Dm) + 20\log(f_{GHz}) + 17{,}82 = 45{,}42dBi$$

$$G_{A_{Rx}}[dBi] = 20\log(Dm) + 20\log(f_{GHz}) + 17{,}82 = 45{,}42dBi$$

EIRP:

$$P_{EIRP}[dBm] = P_{TX}[dBm] + G_{A_{Tx}}[dBi] = 55{,}42dBm$$

Útlm šírením:

$$A_{š}[dB] = 20\log(d_{km}) + 20\log(f_{GHz}) + 92{,}4 = 137{,}77dB$$

Prijatý výkon:

$$P_{Rx}[dBm] = P_{EIRP}[dBm] - A_{š}[dB] + G_{A_{Rx}}[dBi] = -36{,}93dBm$$

Tepelný šum:

$$P_{Thermal\ Noise}[dBm] = -173{,}9\left[\frac{dBm}{Hz}\right] + 10\log(B_{Hz}) = -83{,}9dBm$$

Prahová úroveň:

$$P_{thE-6}[dBm] = P_{therm\quad noise}[dBm] + F[dB] + C/N[dB] = -65{,}9dBm$$

FFM:

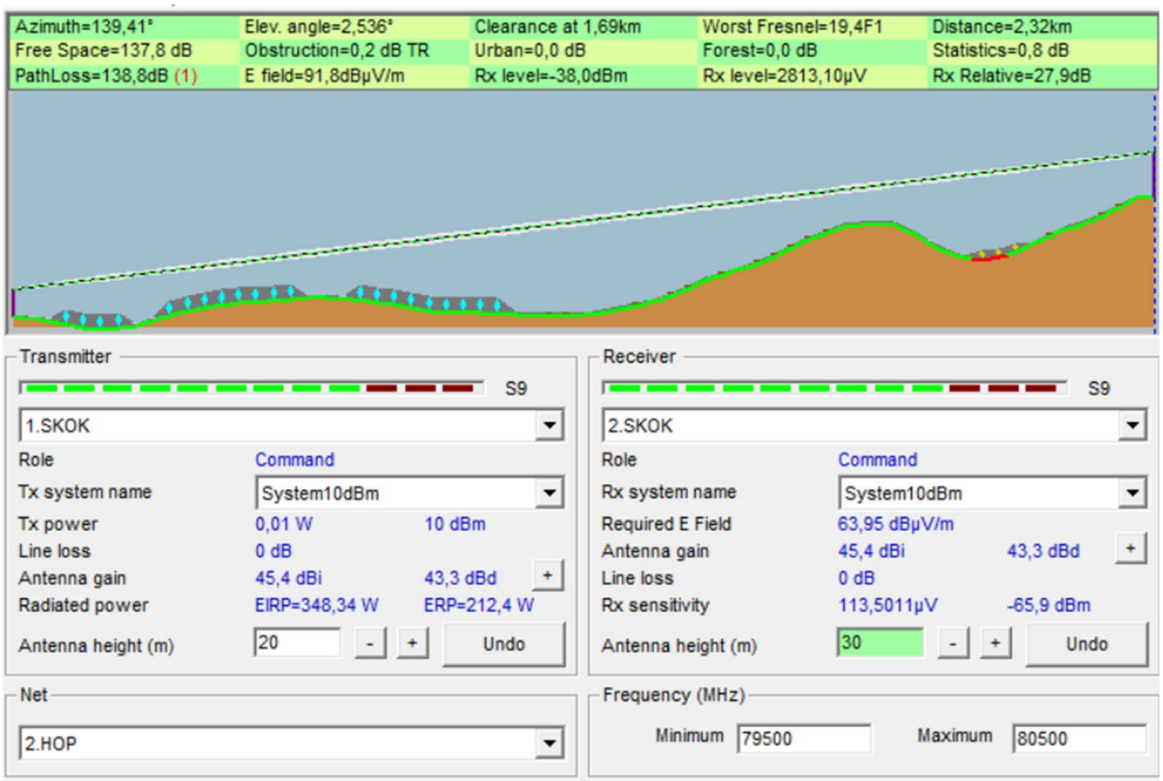
$$FFM[dB] = P_{Rx}[dBm] - P_{thE-6}[dBm] = 28{,}97dB$$

Maximálny polomer 1. Fresnelovej zóny:

$$R_{max}[m] = 8{,}657 \cdot \sqrt{\frac{d_{km}}{f_{GHz}}} = 1{,}47m$$

Všetky parametre	
$\boldsymbol{P_{Tx}}$	10dBm
Výška vysielacej antény	20m
Výška prijímacej antény	30m
Priemer vysielacej antény	0,3m
Priemer prijímacej antény	0,3m
C/N (pri QPSK)	13,5dB
F(šumové číslo)	4,5dB
$\boldsymbol{G_{A_{Tx}}}$	45,42dBi
$\boldsymbol{G_{A_{Rx}}}$	45,42dBi
$\boldsymbol{P_{EIRP}}$	55,42dBm
$\boldsymbol{A_{š}}$	137,77dB
$\boldsymbol{P_{Rx}}$	-36,93dBm
$\boldsymbol{P_{Thermal\ Noise}}$	-83,9dBm
$\boldsymbol{P_{thE-6}}$	-65,9dBm
$\boldsymbol{FFM}$	28,97dB
$\boldsymbol{R_{max}}$	1,47m

5.4.3 Terénny profil a parametre spoja z RadioMobile



Parametre z RadioMobile	
$A_{\check{s}}$	137,8dB
PathLoss	138,8dB
Clearance	1,69km
P_{EIRP}	348,34W = 55,42dBm
P_{Rx}	-38,0dBm
FFM	27,9dB
Worst Fresnel	19,4F1

5.4.4 Porovnanie vypočítaných parametrov s parametrami z RadioMobile

Parameter	Výpočet	RadioMobile
P_{EIRP}	55,4dBm	348,34W = 55,42dBm
$A_{š}$	137,77dB	137,8dB
P_{Rx}	-36,93dBm	-38dBm
FFM(min. 25dB)	28,97dB	27,9dB

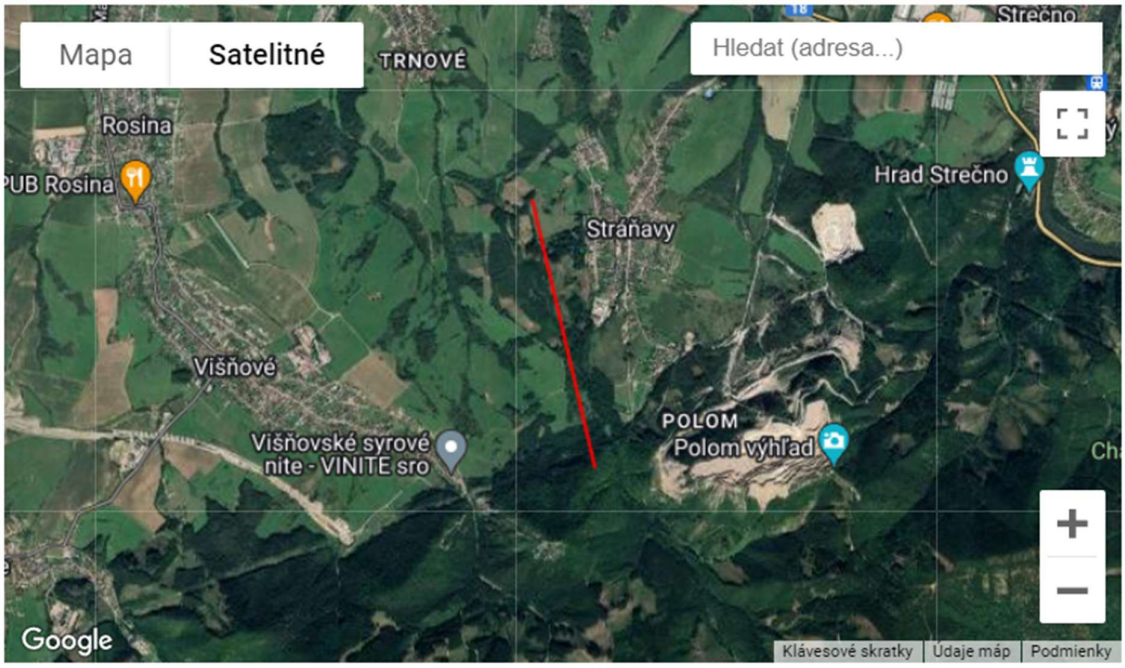
Vzdialenosť[km]	Rezerva[dB]
$do\ 0{,}2 \cdot d_{max}$ $do\ \sim 1{,}07km$	15dB
$0{,}2 \cdot d_{max} - 0{,}4 \cdot d_{max}$ $\sim 1{,}07 - 2{,}13km$	20dB
$0{,}4 \cdot d_{max} - 0{,}6 \cdot d_{max}$ $\sim 2{,}13 - 3{,}2km$	25dB
$0{,}6 \cdot d_{max} - 0{,}8 \cdot d_{max}$ $\sim 3{,}2 - 4{,}26km$	30dB
$0{,}8 \cdot d_{max} - 1{,}0 \cdot d_{max}$ $\sim 4{,}26 - 5{,}33km$	35-40dB

5.4.5 Kvalitatívne parametre z alcoma.cz

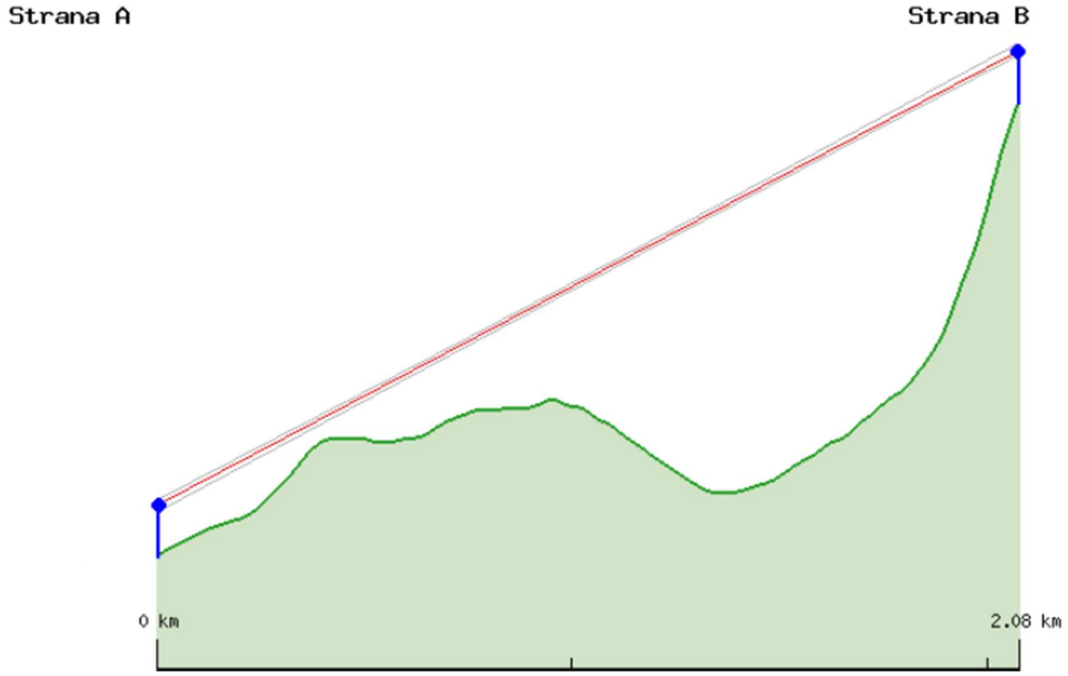
Maximální intenzita srážek (V polarizace)	46	[mm/h]
Dostupnost spoje (V polarizace)	99.9933	[%]
Nedostupnost spoje (V polarizace)	35.2	[min/rok]
Maximální intenzita srážek (H polarizace)	43.9	[mm/h]
Dostupnost spoje (H polarizace)	99.9924	[%]
Nedostupnost spoje (H polarizace)	40.1	[min/rok]

5.5 3.Skok

GPS bodu A:	GPS bodu B:
49°11'24"N, 18°47'22"E	49°10'27"N 18°48'37"E



5.5.1 Terénny profil z alcoma.cz



5.5.2 Výpočet parametrov spoja

Parametre	
P_{Tx}	5dBm
Dĺžka skoku	2,07km
Výška vysielacej antény	30m
Výška prijímacej antény	20m
Priemer vysielacej antény	0,3m
Priemer prijímacej antény	0,3m
C/N (pri QPSK)	13,5dB
F(šumové číslo)	4,5dB

Zisk antén:

$$G_{A_{Tx}}[dBi] = 20\log(Dm) + 20\log(f_{GHz}) + 17{,}82 = 45{,}42dBi$$

$$G_{A_{Rx}}[dBi] = 20\log(Dm) + 20\log(f_{GHz}) + 17{,}82 = 45{,}42dBi$$

EIRP:

$$P_{EIRP}[dBm] = P_{TX}[dBm] + G_{A_{Tx}}[dBi] = 50{,}42dBm$$

Útlm šírením:

$$A_{š}[dB] = 20\log(d_{km}) + 20\log(f_{GHz}) + 92{,}4 = 136{,}75dB$$

Prijatý výkon:

$$P_{Rx}[dBm] = P_{EIRP}[dBm] - A_{š}[dB] + G_{A_{Rx}}[dBi] = -40{,}94dBm$$

Tepelný šum:

$$P_{Therm\quad Noise}[dBm] = -173{,}9\left[\frac{dBm}{Hz}\right] + 10\log(B_{Hz}) = -83{,}9dBm$$

Prahová úroveň:

$$P_{thE-6}[dBm] = P_{thermal\ noise}[dBm] + F[dB] + C/N[dB] = -65{,}9dBm$$

FFM:

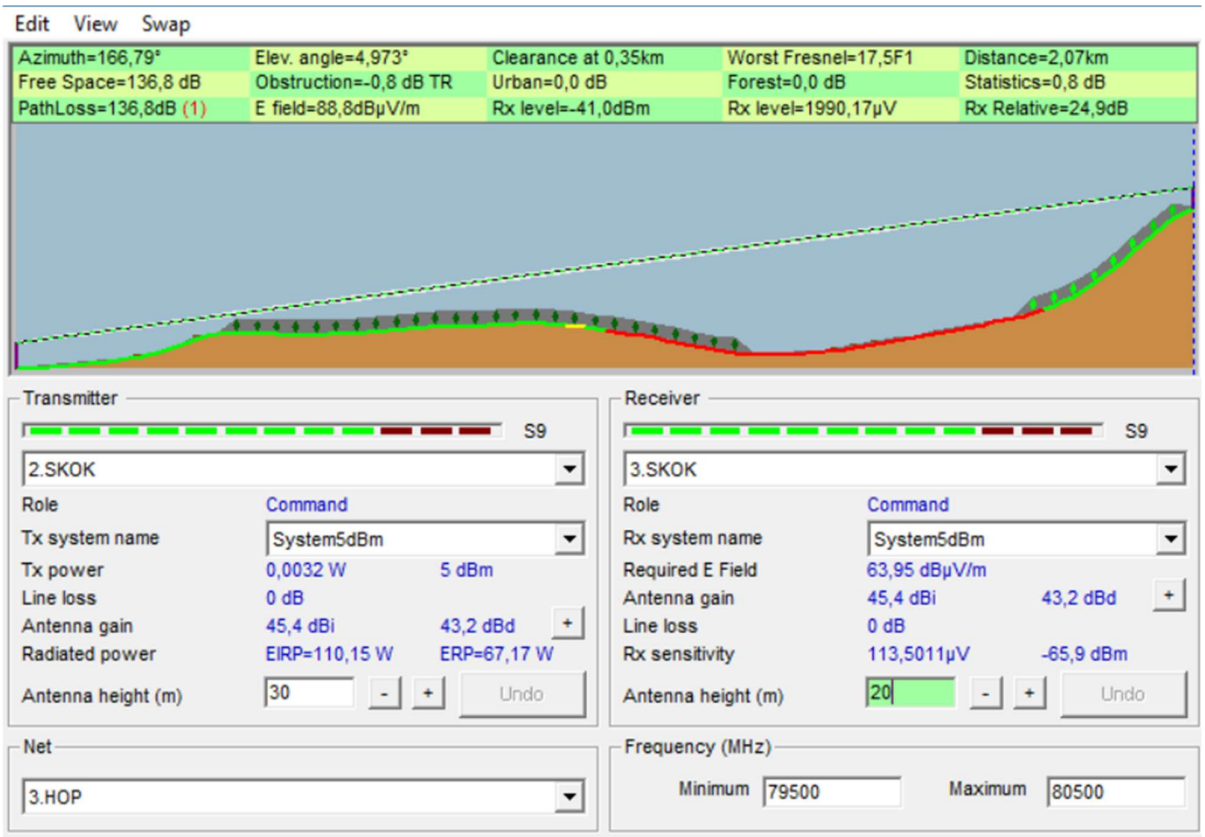
$$FFM[dB] = P_{Rx}[dBm] - P_{thE-6}[dBm] = 24{,}96dB$$

Maximálny polomer 1. Fresnelovej zóny:

$$R_{max}[m] = 8{,}657 \cdot \sqrt{\frac{d_{km}}{f_{GHz}}} = 1{,}39m$$

Všetky parametre	
$\boldsymbol{P_{Tx}}$	5dBm
Výška vysielacej antény	30m
Výška prijímacej antény	20m
Priemer vysielacej antény	0,3m
Priemer prijímacej antény	0,3m
C/N (pri QPSK)	13,5dB
F(šumové číslo)	4,5dB
$\boldsymbol{G_{A_{Tx}}}$	45,42dBi
$\boldsymbol{G_{A_{Rx}}}$	45,42dBi
$\boldsymbol{P_{EIRP}}$	50,42dBm
$\boldsymbol{A_{š}}$	136,78dB
$\boldsymbol{P_{Rx}}$	-40,94dBm
$\boldsymbol{P_{Thermal\ Noise}}$	-83,9dBm
$\boldsymbol{P_{thE-6}}$	-65,9dBm
$\boldsymbol{FFM}$	24,96dB
$\boldsymbol{R_{max}}$	1,39m

5.5.3 Terénny profil a parametre spoja z RadioMobile



Parametre z RadioMobile	
$A_{š}$	136,8dB
PathLoss	136,8dB
Clearance	0,35km
P_{EIRP}	110,15W = 50,419dBm
P_{Rx}	-41,0dBm
FFM	24,9dB
Worst Fresnel	17,5F1

5.5.4 Porovnanie vypočítaných parametrov s parametrami z RadioMobile

Parameter	Výpočet	RadioMobile
P_{EIRP}	50,42dBm	110,15W = 50,419dBm
$A_{š}$	136,78dB	136,8dB
P_{Rx}	-40,94dBm	-41dBm
FFM(min. 20dB)	24,96dB	24,9dB

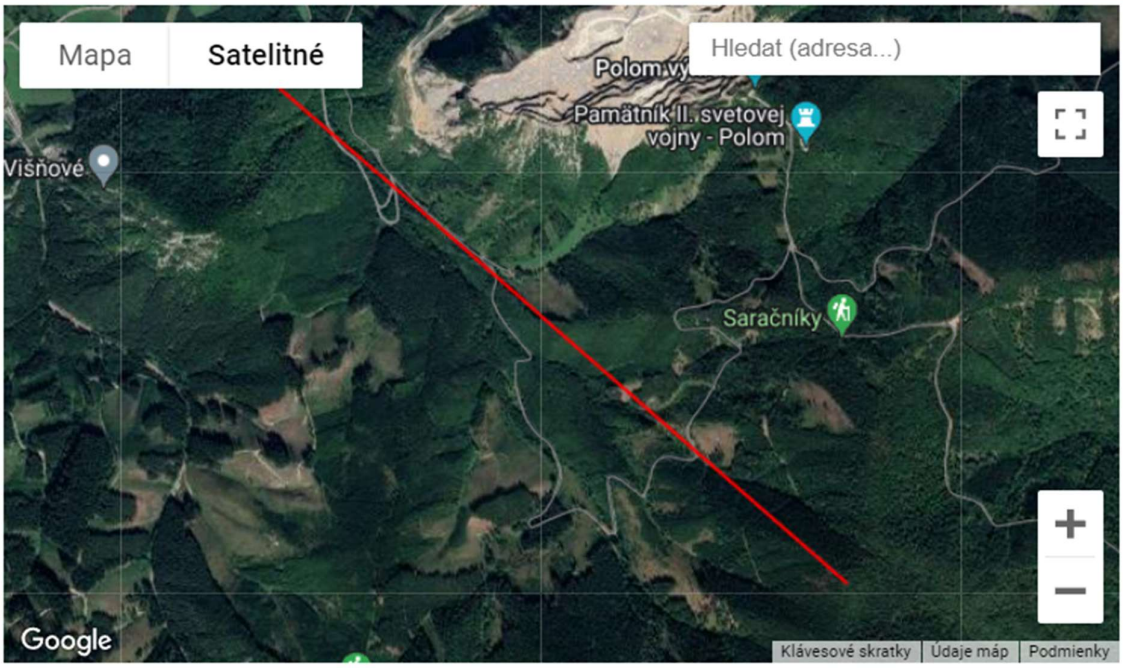
Vzdialenosť[km]	Rezerva[dB]
$do\ 0{,}2 \cdot d_{max}$ $do\ \sim 1{,}07km$	15dB
$0{,}2 \cdot d_{max} - 0{,}4 \cdot d_{max}$ $\sim 1{,}07 - 2{,}13km$	20dB
$0{,}4 \cdot d_{max} - 0{,}6 \cdot d_{max}$ $\sim 2{,}13 - 3{,}2km$	25dB
$0{,}6 \cdot d_{max} - 0{,}8 \cdot d_{max}$ $\sim 3{,}2 - 4{,}26km$	30dB
$0{,}8 \cdot d_{max} - 1{,}0 \cdot d_{max}$ $\sim 4{,}26 - 5{,}33km$	35-40dB

5.5.5 Kvalitatívne parametre z alcoma.cz

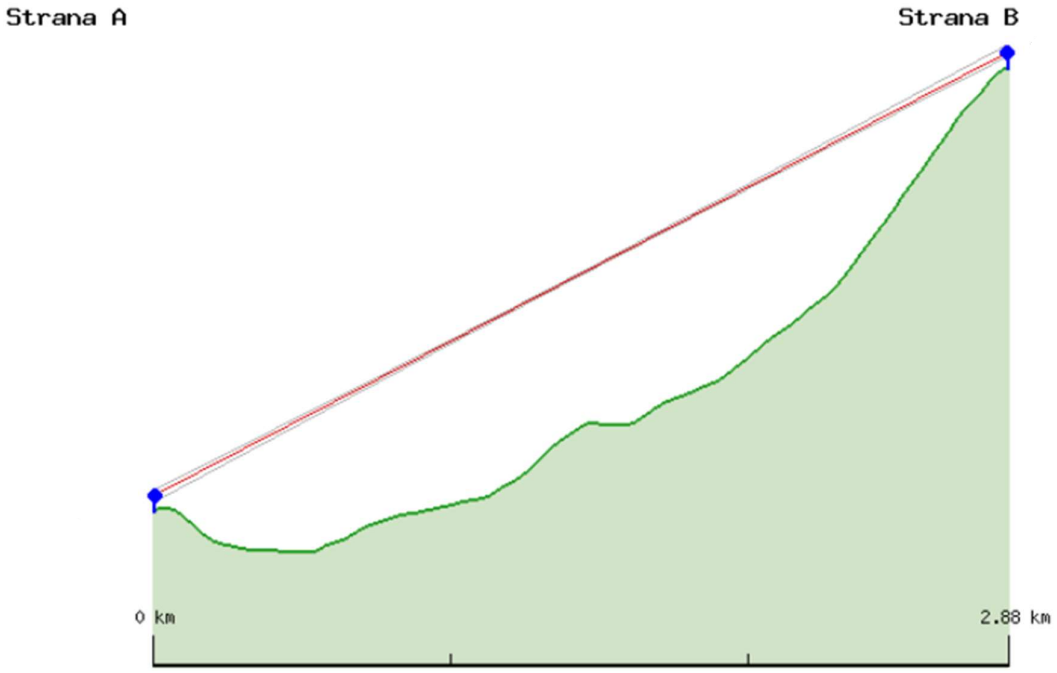
Maximální intenzita srážek (V polarizace)	55.2	[mm/h]
Dostupnost spoje (V polarizace)	99.996	[%]
Nedostupnost spoje (V polarizace)	21	[min/rok]
Maximální intenzita srážek (H polarizace)	52.6	[mm/h]
Dostupnost spoje (H polarizace)	99.9954	[%]
Nedostupnost spoje (H polarizace)	24.1	[min/rok]

5.6 4.Skok

GPS bodu A:	GPS bodu B:
49°10'27"N 18°48'37"E	49°08'20.3"N 18°50'47.5"E



5.6.1 Terénny profil z alcoma.cz



5.6.2 Výpočet parametrov spoja

Parametre	
P_{Tx}	10dBm
Dĺžka skoku	2,87km
Výška vysielacej antény	20m
Výška prijímacej antény	30m
Priemer vysielacej antény	0,3m
Priemer prijímacej antény	0,3m
C/N (pri QPSK)	13,5dB
F(šumové číslo)	4,5dB

Zisk antén:

$$G_{A_{Tx}}[dBi] = 20\log(Dm) + 20\log(f_{GHz}) + 17{,}82 = 45{,}42dBi$$

$$G_{A_{Rx}}[dBi] = 20\log(Dm) + 20\log(f_{GHz}) + 17{,}82 = 45{,}42dBi$$

EIRP:

$$P_{EIRP}[dBm] = P_{TX}[dBm] + G_{A_{Tx}}[dBi] = 55{,}42dBm$$

Útlm šírením:

$$A_{š}[dB] = 20\log(d_{km}) + 20\log(f_{GHz}) + 92{,}4 = 139{,}65dB$$

Prijatý výkon:

$$P_{Rx}[dBm] = P_{EIRP}[dBm] - A_{š}[dB] + G_{A_{Rx}}[dBi] = -38{,}81dBm$$

Tepelný šum:

$$P_{Therm\quad Noise}[dBm] = -173{,}9\left[\frac{dBm}{Hz}\right] + 10\log(B_{Hz}) = -83{,}9dBm$$

Prahová úroveň:

$$P_{thE-6}[dBm] = P_{thermal\ noise}[dBm] + F[dB] + C/N[dB] = -65{,}9dBm$$

FFM:

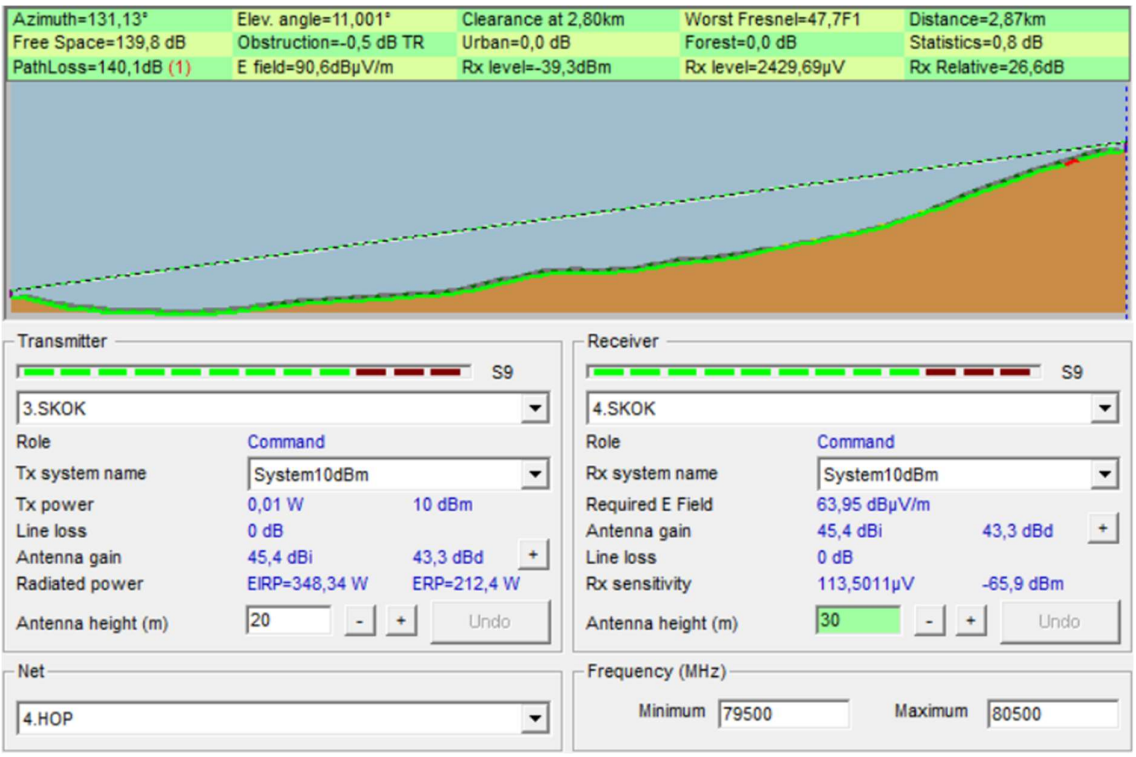
$$FFM[dB] = P_{Rx}[dBm] - P_{thE-6}[dBm] = 27{,}09dB$$

Maximálny polomer 1. Fresnelovej zóny:

$$R_{max}[m] = 8{,}657 \cdot \sqrt{\frac{d_{km}}{f_{GHz}}} = 1{,}64m$$

Všetky parametre	
$\boldsymbol{P_{Tx}}$	10dBm
Výška vysielacej antény	20m
Výška prijímacej antény	30m
Priemer vysielacej antény	0,3m
Priemer prijímacej antény	0,3m
C/N (pri QPSK)	13,5dB
F(šumové číslo)	4,5dB
$\boldsymbol{G_{A_{Tx}}}$	45,42dBi
$\boldsymbol{G_{A_{Rx}}}$	45,42dBi
$\boldsymbol{P_{EIRP}}$	55,42dBm
$\boldsymbol{A_{š}}$	139,65dB
$\boldsymbol{P_{Rx}}$	-38,81dBm
$\boldsymbol{P_{Thermal\ Noise}}$	-83,9dBm
$\boldsymbol{P_{thE-6}}$	-65,9dBm
$\boldsymbol{FFM}$	27,09dB
$\boldsymbol{R_{max}}$	1,64m

5.6.3 Terénny profil a parametre spoja z RadioMobile



Parametre z RadioMobile	
$A_š$	139,8dB
PathLoss	140,1dB
Clearance	2,8km
P_{EIRP}	384,34W = 55,4dBm
P_{Rx}	-39,3dBm
FFM	26,6dB
Worst Fresnel	47,7F1

5.6.4 Porovnanie vypočítaných parametrov s parametrami z RadioMobile

Parameter	Výpočet	RadioMobile
P_{EIRP}	55,42dBm	384,34W = 55,4dBm
$A_{š}$	139,65dB	139,8dB
P_{Rx}	-38,81dBm	-39,3dBm
FFM(min. 25dB)	27,09dB	26,6dB

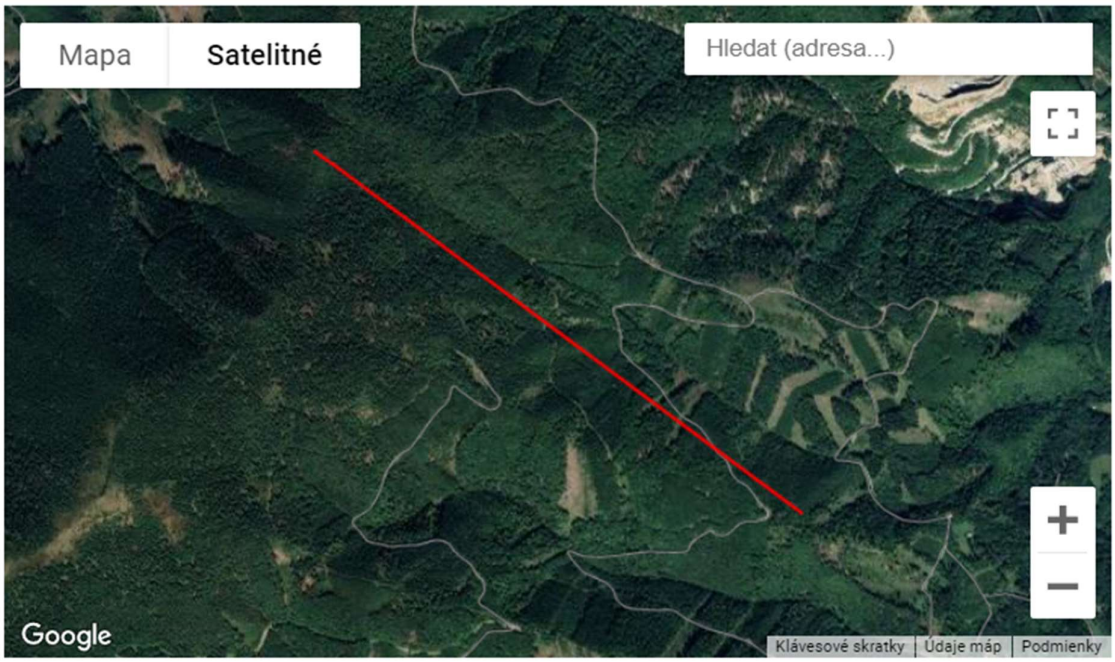
Vzdialenosť[km]	Rezerva[dB]
$do\ 0{,}2 \cdot d_{max}$ $do\ \sim 1{,}07km$	15dB
$0{,}2 \cdot d_{max} - 0{,}4 \cdot d_{max}$ $\sim 1{,}07 - 2{,}13km$	20dB
$0{,}4 \cdot d_{max} - 0{,}6 \cdot d_{max}$ $\sim 2{,}13 - 3{,}2km$	25dB
$0{,}6 \cdot d_{max} - 0{,}8 \cdot d_{max}$ $\sim 3{,}2 - 4{,}26km$	30dB
$0{,}8 \cdot d_{max} - 1{,}0 \cdot d_{max}$ $\sim 4{,}26 - 5{,}33km$	35-40dB

5.6.5 Kvalitatívne parametre z alcoma.cz

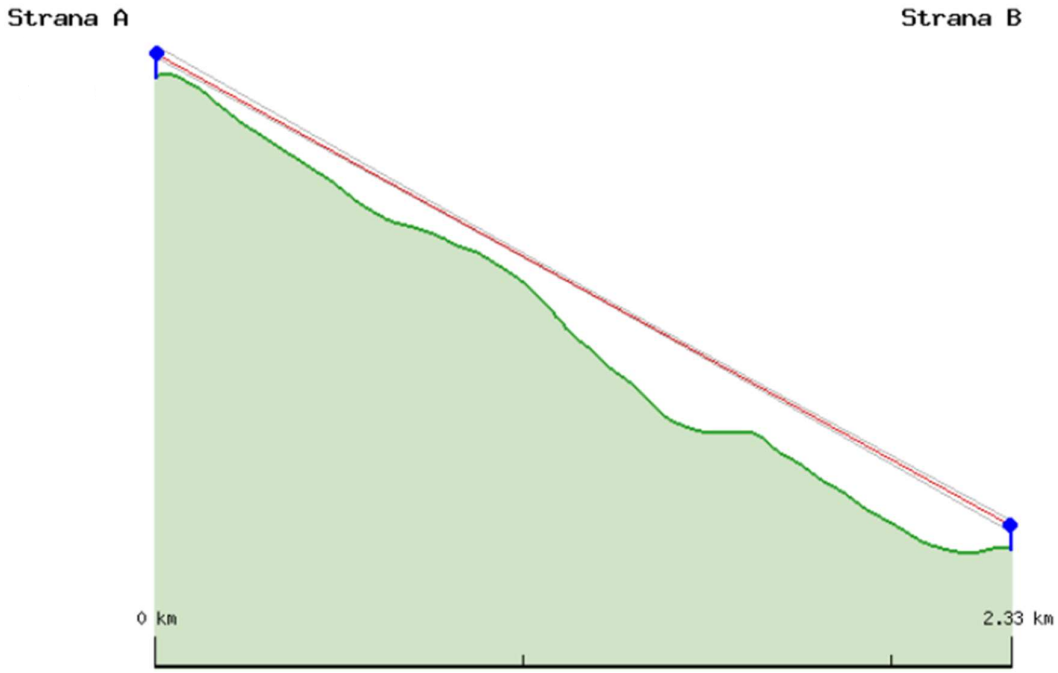
Maximální intenzita srážek (V polarizace)	32.1	[mm/h]
Dostupnost spoje (V polarizace)	99.9825	[%]
Nedostupnost spoje (V polarizace)	91.9	[min/rok]
Maximální intenzita srážek (H polarizace)	30.8	[mm/h]
Dostupnost spoje (H polarizace)	99.9806	[%]
Nedostupnost spoje (H polarizace)	102.2	[min/rok]

5.7 5.Skok

GPS bodu A:	GPS bodu B:
49°08'20.3"N 18°50'47.5"E	49°07'35.4"N 18°52'20.0"E



5.7.1 Terénny profil z alcoma.cz



5.7.2 Výpočet parametrov spoja

Parametre	
P_{Tx}	10dBm
Dĺžka skoku	2,32km
Výška vysielacej antény	30m
Výška prijímacej antény	20m
Priemer vysielacej antény	0,3m
Priemer prijímacej antény	0,3m
C/N (pri QPSK)	13,5dB
F(šumové číslo)	4,5dB

Zisk antén:

$$G_{A_{Tx}}[dBi] = 20\log(Dm) + 20\log(f_{GHz}) + 17{,}82 = 45{,}42dBi$$

$$G_{A_{Rx}}[dBi] = 20\log(Dm) + 20\log(f_{GHz}) + 17{,}82 = 45{,}42dBi$$

EIRP:

$$P_{EIRP}[dBm] = P_{TX}[dBm] + G_{A_{Tx}}[dBi] = 55{,}42dBm$$

Útlm šírením:

$$A_{š}[dB] = 20\log(d_{km}) + 20\log(f_{GHz}) + 92{,}4 = 137{,}77dB$$

Prijatý výkon:

$$P_{Rx}[dBm] = P_{EIRP}[dBm] - A_{š}[dB] + G_{A_{Rx}}[dBi] = -36{,}93dBm$$

Tepelný šum:

$$P_{Ther\quad Noise}[dBm] = -173{,}9\left[\frac{dBm}{Hz}\right] + 10\log(B_{Hz}) = -83{,}9dBm$$

Prahová úroveň:

$$P_{thE-6}[dBm] = P_{therm\quad noise}[dBm] + F[dB] + C/N[dB] = -65{,}9dBm$$

FFM:

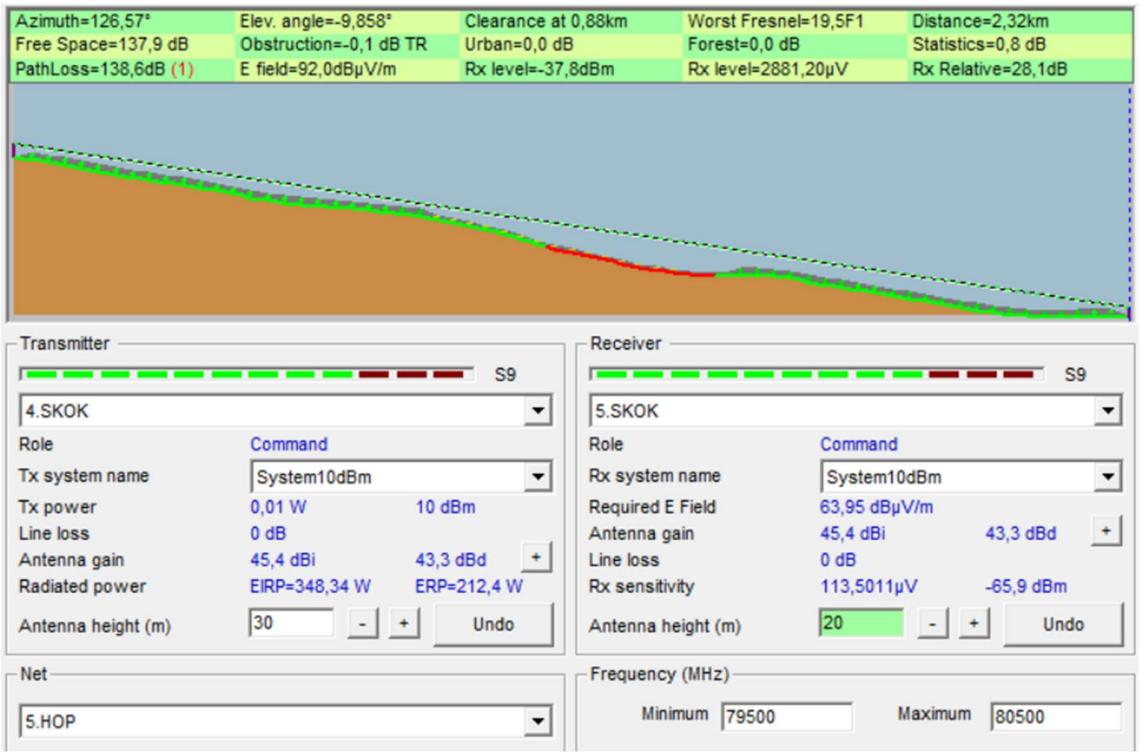
$$FFM[dB] = P_{Rx}[dBm] - P_{thE-6}[dBm] = 28{,}97dB$$

Maximálny polomer 1. Fresnelovej zóny:

$$R_{max}[m] = 8{,}657 \cdot \sqrt{\frac{d_{km}}{f_{GHz}}} = 1{,}47m$$

Všetky parametre	
$\boldsymbol{P_{Tx}}$	10dBm
Výška vysielacej antény	30m
Výška prijímacej antény	20m
Priemer vysielacej antény	0,3m
Priemer prijímacej antény	0,3m
C/N (pri QPSK)	13,5dB
F(šumové číslo)	4,5dB
$\boldsymbol{G_{A_{Tx}}}$	45,42dBi
$\boldsymbol{G_{A_{Rx}}}$	45,42dBi
$\boldsymbol{P_{EIRP}}$	55,42dBm
$\boldsymbol{A_{š}}$	137,77dB
$\boldsymbol{P_{Rx}}$	-36,93dBm
$\boldsymbol{P_{Thermal\ Noise}}$	-83,9dBm
$\boldsymbol{P_{thE-6}}$	-65,9dBm
$\boldsymbol{FFM}$	28,97dB
$\boldsymbol{R_{max}}$	1,47m

5.7.3 Terénny profil a parametre spoja z RadioMobile



Parametre z RadioMobile	
$A_š$	137,9dB
PathLoss	138,6dB
Clearance	0,88km
P_{EIRP}	384,34W = 55,4dBm
P_{Rx}	-37,8dBm
FFM	28,1dB
Worst Fresnel	17,5F1

5.7.4 Porovnanie vypočítaných parametrov s parametrami z RadioMobile

Parameter	Výpočet	RadioMobile
P_{EIRP}	55,42dBm	384,34W = 55,4dBm
$A_{š}$	137,77dB	137,9dB
P_{Rx}	-36,93dBm	-37,8dBm
FFM(min. 25dB)	28,97dB	28,1dB

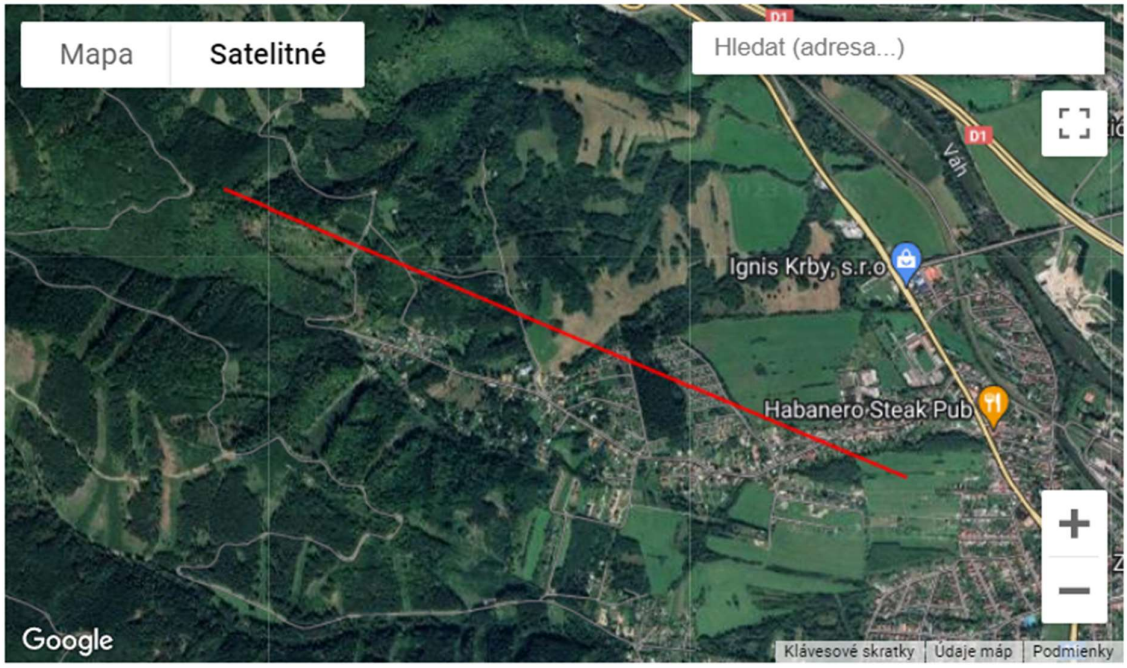
Vzdialenosť[km]	Rezerva[dB]
$do\ 0{,}2 \cdot d_{max}$ $do\ \sim 1{,}07km$	15dB
$0{,}2 \cdot d_{max} - 0{,}4 \cdot d_{max}$ $\sim 1{,}07 - 2{,}13km$	20dB
$0{,}4 \cdot d_{max} - 0{,}6 \cdot d_{max}$ $\sim 2{,}13 - 3{,}2km$	25dB
$0{,}6 \cdot d_{max} - 0{,}8 \cdot d_{max}$ $\sim 3{,}2 - 4{,}26km$	30dB
$0{,}8 \cdot d_{max} - 1{,}0 \cdot d_{max}$ $\sim 4{,}26 - 5{,}33km$	35-40dB

5.7.5 Kvalitatívne parametre z alcoma.cz

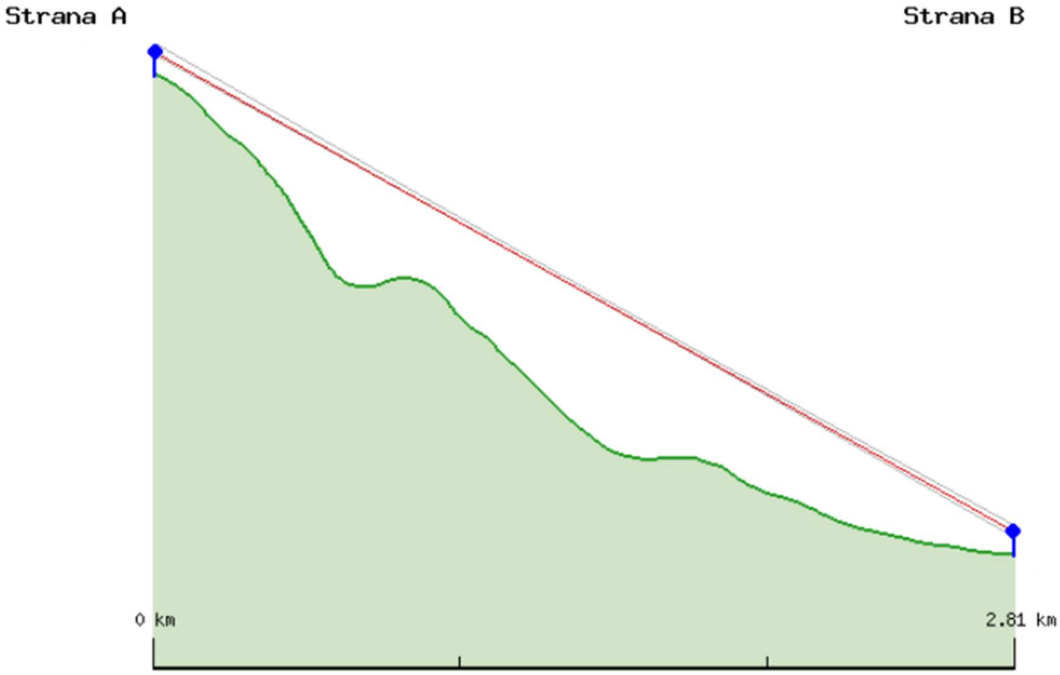
Maximální intenzita srážek (V polarizace)	45.7	[mm/h]
Dostupnost spoje (V polarizace)	99.9931	[%]
Nedostupnost spoje (V polarizace)	36.2	[min/rok]
Maximální intenzita srážek (H polarizace)	43.6	[mm/h]
Dostupnost spoje (H polarizace)	99.9922	[%]
Nedostupnost spoje (H polarizace)	41.1	[min/rok]

5.8 6.Skok

GPS bodu A:	GPS bodu B:
49°07'35.4"N 18°52'20.0"E	49°07'00"N 18°54'27.8"E



5.8.1 Terénny profil z alcoma.cz



5.8.2 Výpočet parametrov spoja

Parametre	
P_{Tx}	10dBm
Dĺžka skoku	2,80km
Výška vysielacej antény	20m
Výška prijímacej antény	15m
Priemer vysielacej antény	0,3m
Priemer prijímacej antény	0,3m
C/N (pri QPSK)	13,5dB
F(šumové číslo)	4,5dB

Zisk antén:

$$G_{A_{Tx}}[dBi] = 20\log(Dm) + 20\log(f_{GHz}) + 17{,}82 = 45{,}42dBi$$

$$G_{A_{Rx}}[dBi] = 20\log(Dm) + 20\log(f_{GHz}) + 17{,}82 = 45{,}42dBi$$

EIRP:

$$P_{EIRP}[dBm] = P_{TX}[dBm] + G_{A_{Tx}}[dBi] = 55{,}42dBm$$

Útlm šírením:

$$A_{š}[dB] = 20\log(d_{km}) + 20\log(f_{GHz}) + 92{,}4 = 139{,}4dB$$

Prijatý výkon:

$$P_{Rx}[dBm] = P_{EIRP}[dBm] - A_{š}[dB] + G_{A_{Rx}}[dBi] = -38{,}56dBm$$

Tepelný šum:

$$P_{Therm\quad Noise}[dBm] = -173{,}9\left[\frac{dBm}{Hz}\right] + 10\log(B_{Hz}) = -83{,}9dBm$$

Prahová úroveň:

$$P_{thE-6}[dBm] = P_{therm\quad noise}[dBm] + F[dB] + C/N[dB] = -65{,}9dBm$$

FFM:

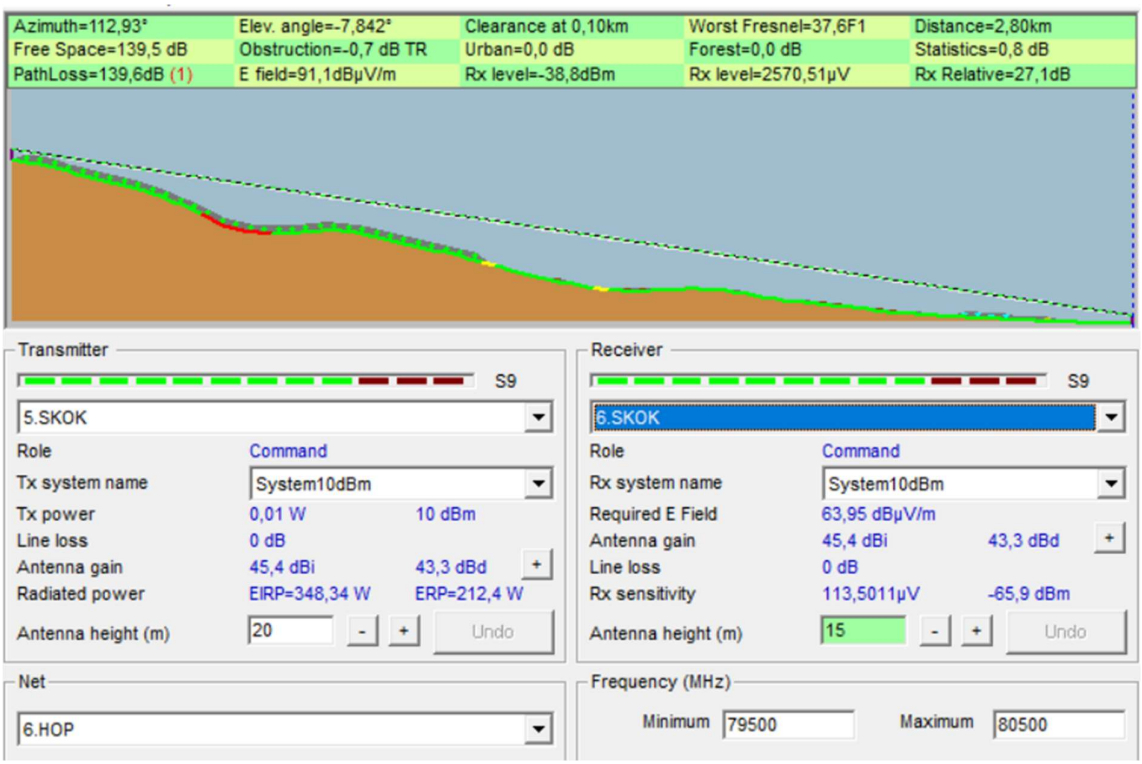
$$FFM[dB] = P_{Rx}[dBm] - P_{thE-6}[dBm] = 27{,}34dB$$

Maximálny polomer 1. Fresnelovej zóny:

$$R_{max}[m] = 8{,}657 \cdot \sqrt{\frac{d_{km}}{f_{GHz}}} = 1{,}62m$$

Všetky parametre	
$\boldsymbol{P_{Tx}}$	10dBm
Výška vysielacej antény	20m
Výška prijímacej antény	15m
Priemer vysielacej antény	0,3m
Priemer prijímacej antény	0,3m
C/N (pri QPSK)	13,5dB
F(šumové číslo)	4,5dB
$\boldsymbol{G_{A_{Tx}}}$	45,42dBi
$\boldsymbol{G_{A_{Rx}}}$	45,42dBi
$\boldsymbol{P_{EIRP}}$	55,42dBm
$\boldsymbol{A_{š}}$	139,4dB
$\boldsymbol{P_{Rx}}$	-38,56dBm
$\boldsymbol{P_{Thermal\ Noise}}$	-83,9dBm
$\boldsymbol{P_{thE-6}}$	-65,9dBm
$\boldsymbol{FFM}$	27,34dB
$\boldsymbol{R_{max}}$	1,62m

5.8.3 Terénny profil a parametre spoja z RadioMobile



Parametre z RadioMobile	
$A_š$	139,5dB
PathLoss	139,6dB
Clearance	0,10km
P_{EIRP}	384,34W = 55,4dBm
P_{Rx}	-38,8dBm
FFM	27,1dB
Worst Fresnel	37,6F1

5.8.4 Porovnanie vypočítaných parametrov s parametrami z RadioMobile

Parameter	Výpočet	RadioMobile
P_{EIRP}	55,42dBm	384,34W = 55,4dBm
$A_{š}$	139,4dB	139,5dB
P_{Rx}	-38,56dBm	-38,8dBm
FFM(min. 25dB)	27,34dB	27,1dB

Vzdialenosť[km]	Rezerva[dB]
$do\ 0{,}2 \cdot d_{max}$ $do\ \sim 1{,}07km$	15dB
$0{,}2 \cdot d_{max} - 0{,}4 \cdot d_{max}$ $\sim 1{,}07 - 2{,}13km$	20dB
$0{,}4 \cdot d_{max} - 0{,}6 \cdot d_{max}$ $\sim 2{,}13 - 3{,}2km$	25dB
$0{,}6 \cdot d_{max} - 0{,}8 \cdot d_{max}$ $\sim 3{,}2 - 4{,}26km$	30dB
$0{,}8 \cdot d_{max} - 1{,}0 \cdot d_{max}$ $\sim 4{,}26 - 5{,}33km$	35-40dB

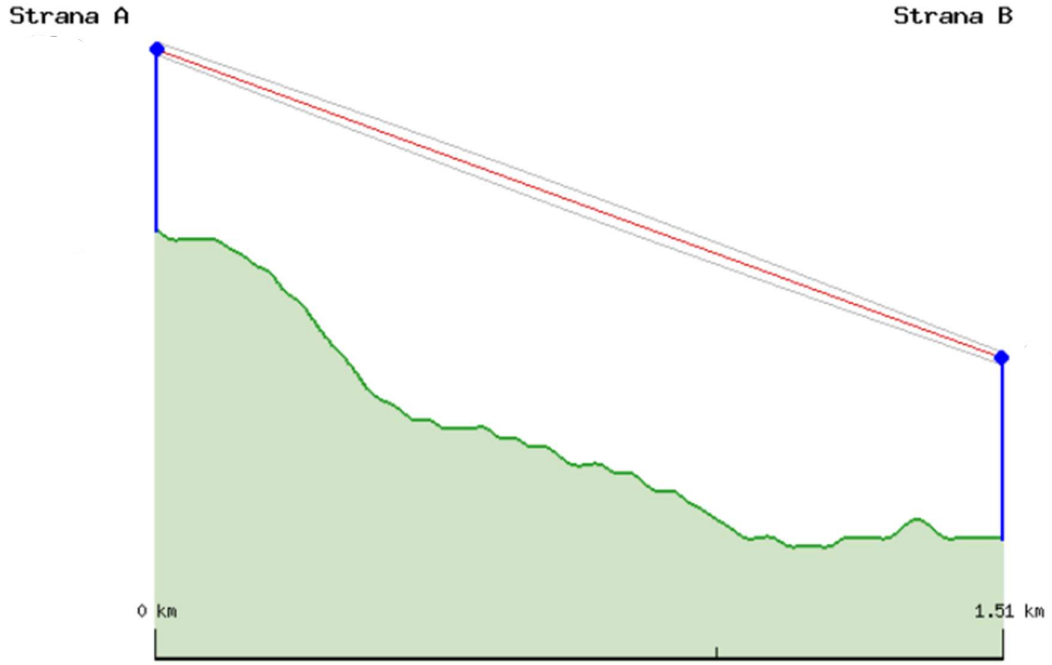
5.8.5 Kvalitatívne parametre z alcoma.cz

Maximální intenzita srážek (V polarizace)	33.5	[mm/h]
Dostupnost spoje (V polarizace)	99.9841	[%]
Nedostupnost spoje (V polarizace)	83.4	[min/rok]
Maximální intenzita srážek (H polarizace)	32.1	[mm/h]
Dostupnost spoje (H polarizace)	99.9823	[%]
Nedostupnost spoje (H polarizace)	93	[min/rok]

5.9 7.Skok

GPS bodu A:	GPS bodu B:
49°07'00"N 18°54'27.8"E	49°06'33.5"N 18°55'30.2"E

5.9.1 Terénny profil z alcoma.cz



5.9.2 Výpočet parametrov spoja

Parametre	
P_{Tx}	0dBm
Dĺžka skoku	1,5km
Výška vysielacej antény	15m
Výška prijímacej antény	10m
Priemer vysielacej antény	0,3m
Priemer prijímacej antény	0,3m
C/N (pri QPSK)	13,5dB
F(šumové číslo)	4,5dB

Zisk antén:

$$G_{A_{Tx}}[dBi] = 20\log(Dm) + 20\log(f_{GHz}) + 17{,}82 = 45{,}42dBi$$

$$G_{A_{Rx}}[dBi] = 20\log(Dm) + 20\log(f_{GHz}) + 17{,}82 = 45{,}42dBi$$

EIRP:

$$P_{EIRP}[dBm] = P_{TX}[dBm] + G_{A_{Tx}}[dBi] = 45{,}42dBm$$

Útlm šírením:

$$A_{š}[dB] = 20\log(d_{km}) + 20\log(f_{GHz}) + 92{,}4 = 133{,}98dB$$

Prijatý výkon:

$$P_{Rx}[dBm] = P_{EIRP}[dBm] - A_{š}[dB] + G_{A_{Rx}}[dBi] = -43{,}14dBm$$

Tepelný šum:

$$P_{Therm\quad Noise}[dBm] = -173{,}9\left[\frac{dBm}{Hz}\right] + 10\log(B_{Hz}) = -83{,}9dBm$$

Prahová úroveň:

$$P_{thE-6}[dBm] = P_{thermal\ noise}[dBm] + F[dB] + C/N[dB] = -65{,}9dBm$$

FFM:

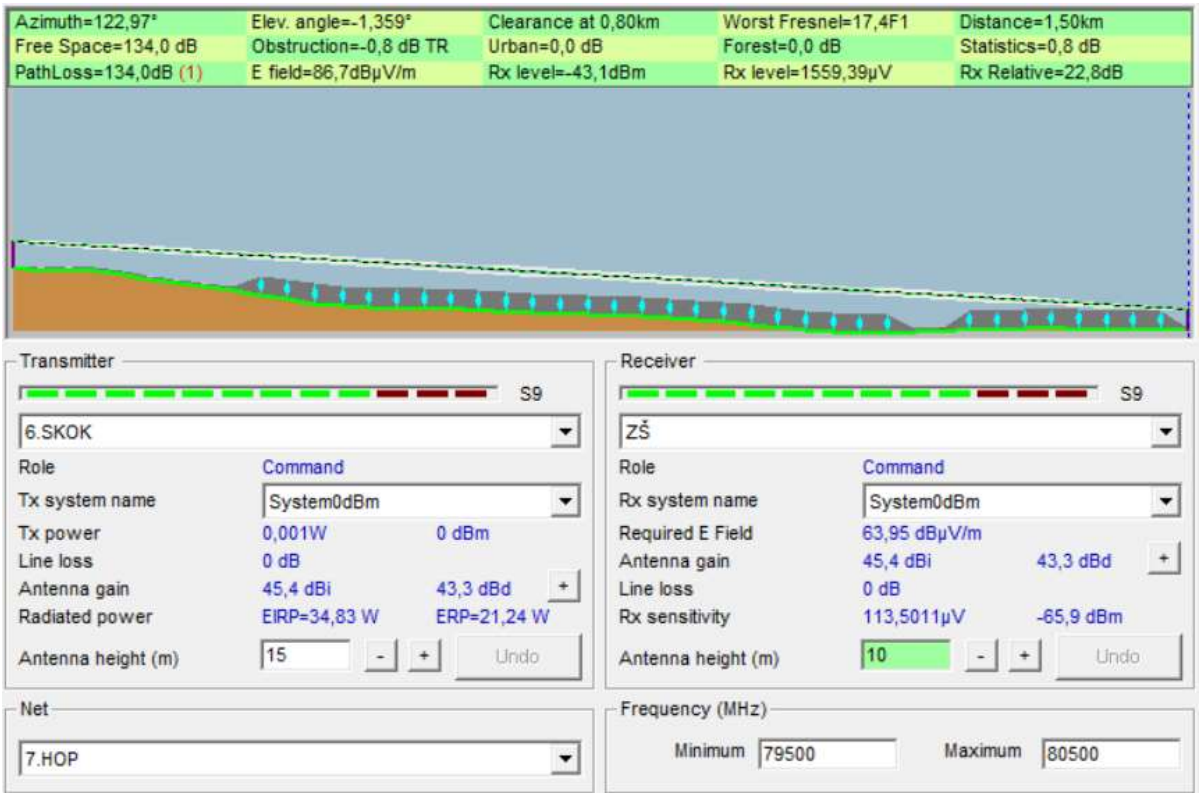
$$FFM[dB] = P_{Rx}[dBm] - P_{thE-6}[dBm] = 22{,}76dB$$

Maximálny polomer 1. Fresnelovej zóny:

$$R_{max}[m] = 8{,}657 \cdot \sqrt{\frac{d_{km}}{f_{GHz}}} = 1{,}19m$$

Všetky parametre	
$\boldsymbol{P_{Tx}}$	0dBm
Výška vysielacej antény	15m
Výška prijímacej antény	10m
Priemer vysielacej antény	0,3m
Priemer prijímacej antény	0,3m
C/N (pri QPSK)	13,5dB
F(šumové číslo)	4,5dB
$\boldsymbol{G_{A_{Tx}}}$	45,42dBi
$\boldsymbol{G_{A_{Rx}}}$	45,42dBi
$\boldsymbol{P_{EIRP}}$	45,42dBm
$\boldsymbol{A_{š}}$	133,98dB
$\boldsymbol{P_{Rx}}$	-43,14dBm
$\boldsymbol{P_{Thermal\ Noise}}$	-83,9dBm
$\boldsymbol{P_{thE-6}}$	-65,9dBm
$\boldsymbol{FFM}$	22,76dB
$\boldsymbol{R_{max}}$	1,19m

5.9.3 Terénny profil a parametre spoja z RadioMobile



Parametre z RadioMobile	
$A_{š}$	134dB
PathLoss	134dB
Clearance	0,80km
P_{EIRP}	34,83W = 45,419dBm
P_{Rx}	-43,1dBm
FFM	22,8dB
Worst Fresnel	17,4F1

5.9.4 Porovnanie vypočítaných parametrov s parametrami z RadioMobile

Parameter	Výpočet	RadioMobile
P_{EIRP}	45,42dBm	34,83W = 45,419dBm
$A_{š}$	133,98dB	134dB
P_{Rx}	-43,14dBm	-43,1dBm
FFM(min. 20dB)	22,76dB	22,8dB

Vzdialenosť[km]	Rezerva[dB]
$do\ 0{,}2 \cdot d_{max}$ $do \sim 1{,}07km$	15dB
$0{,}2 \cdot d_{max} - 0{,}4 \cdot d_{max}$ $\sim 1{,}07 - 2{,}13km$	20dB
$0{,}4 \cdot d_{max} - 0{,}6 \cdot d_{max}$ $\sim 2{,}13 - 3{,}2km$	25dB
$0{,}6 \cdot d_{max} - 0{,}8 \cdot d_{max}$ $\sim 3{,}2 - 4{,}26km$	30dB
$0{,}8 \cdot d_{max} - 1{,}0 \cdot d_{max}$ $\sim 4{,}26 - 5{,}33km$	35-40dB

5.9.5 Kvalitatívne parametre z alcoma.cz

Maximální intenzita srážek (V polarizace)	94.2	[mm/h]
Dostupnost spoje (V polarizace)	99.9993	[%]
Nedostupnost spoje (V polarizace)	3.8	[min/rok]
Maximální intenzita srážek (H polarizace)	89.2	[mm/h]
Dostupnost spoje (H polarizace)	99.9991	[%]
Nedostupnost spoje (H polarizace)	4.6	[min/rok]

6 ZÁVER

Cieľom laboratórneho zadania bolo vyskúšať si vytvoriť mikrovlnové rádiové spojenie. Začali sme tým, že sme vypočítali vzdialenosti pre požadované hraničné a optimálne útlmy trasy, ktoré záviseli od zadanej nosnej frekvencie. Pokračovali sme tým, že sme našli vysielač na webstránke mapavysilacu.cz v minimálnej vzdialenosti $4 \cdot d_{max}$ od nami zvolenej inštitúcie (škola, obecný úrad,..) v našom trvalom bydlisku. Ďalším krokom bolo vytvoriť spojenie s viacerými skokmi na nami zvolenej mape dostupnej na internete (mapy.cz, Google maps,...). Počet skokov nebol obmedzený. V mojom prípade som si trasu vytvoril na Google mapách a celkový počet skokov bol 7. Každý skok trasy sme si pomocou GPS súradníc overili na webstránke alcoma.cz a odfotili sme si vykreslený terénny profil a kvalitatívne parametre spoja. Po naplánovaní trasy sme prešli na výpočty parametrov jednotlivých skokov (prijatý výkon, zisk antény, prahová úroveň, rezerva na plochý únik,...). Na záver sme mikrovlnovú trasu zostavili v softvéry RadioMobile, kde nám zobrazilo terénny profil a taktiež parametre jednotlivých skokov. Vypočítané hodnoty a hodnoty z RadioMobile boli v niektorých prípadoch mierne odlišné.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY – BIBLIOGRAFIA

[1] www.mapavysilacu.cz

[2] www.alcoma.cz

[5] www.maps.google.com